

**Лаврик Александр Александрович**,  
аспирант, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: gesters3@mail.ru.

**Эльхутов Сергей Николаевич**,  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: esn@fromru.com

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВАЛА ПОРШНЕВЫХ МАШИН**

**Lavrik A.A., Elkhutov S.N**

## **ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF MICROCONTROLLERS FOR MEASURING THE ANGULAR VELOCITY OF THE SHAFT OF PISTON MACHINES**

**Аннотация.** Рассмотрена возможность применения доступных микроконтроллеров для оценки технического состояния поршневых машин по изменению угловой скорости вала.

**Ключевые слова:** Микроконтроллер, угловая скорость, оперативная память.

**Abstract.** The possibility of using available microcontrollers to assess the technical condition of reciprocating machines by changing the angular velocity of the shaft is considered.

**Keywords:** Microcontroller, angular velocity, RAM.

В современных реалиях функционирования предприятий нефтепереработки на первый план выходит вопрос о поддержании работоспособности оборудования, используемого в технологических процессах.

На предприятиях нефтепереработки для качественной оценки технического состояния оборудования, используемого в технологических процессах оборудования, широко применяются различные методы неразрушающего контроля [1]. Одним из самых часто используемых методов является вибрационный контроль [2]. Однако, во многих процессах применяют поршневое оборудование, в частности, поршневые компрессоры и насосы, для которых оценка технического состояния с применением вибродиагностики не эффективна в связи с тем, что в основе их работы лежит возвратно-поступательное движение некоторых частей кривошипно-шатунного механизма. Оценка технического состояния поршневых машин производится с помощью анализа спектра вибрации, получаемого с помощью быстрого преобразования Фурье. При таком преобразовании выборка точек будет производиться неравномерно и это приведет к тому, что полученный спектр, который необходим для определения дефектов будет различаться во всём временном интервале. В результате этого локализация дефектов будет проблематична [3].

Эта особенность приводит к необходимости использования других способов неразрушающего контроля для выявления неисправностей поршневого оборудования. Одним из таких способов является оценка технического состояния поршневой машины на основе измерений угловой скорости вращения вала,

для реализации которого требуется применение оборудования, способного получать и обрабатывать большой объем данных, поступающих с измерительного устройства. В качестве измерительного устройства предлагается использовать абсолютный магнитный энкодер AS5048A [4].

В настоящее время промышленностью представлены различные варианты микроконтроллеров с разными техническими характеристиками и, в связи с этим, проведение анализа возможности их применения для фиксации изменений угловой скорости вращения вала является актуальным.

Основную долю на рынке микроконтроллеров, подходящих для реализации устройства измерения угловой скорости вращения вала поршневой машины, составляют семейства AVR, STM, ESP32.

Среди семейства AVR подходящим кандидатом является микроконтроллер ATmega 2560 на базе платы Arduino, представленный на рисунке 1.



Рисунок 1 – Микроконтроллер ATmega 2560 на базе платы Arduino

Основой платформы является 8-битный микроконтроллер семейства AVR тактовая частота которого равна 16 МГц. Для хранения данных используются 256 Кбайт Flash-памяти и 4 Кбайт энергонезависимой памяти EEPROM. Объем оперативной памяти равен 8 Кбайт [5].

Исходя из анализа доступности и цены подходящим вариантом из семейства STM32 является микроконтроллер STM32F407VGT6 который построен на базе 32-битного ядра ARM Cortex M4. В проектах по разработке различных систем автоматизации применяют отладочную плату, представленную на рисунке 2.

Микроконтроллер обладает тактовой частотой 168 МГц, 1 Мбайт Flash-памяти, и 192 Кбайт оперативной памяти [6].



Рисунок 2 – Отладочная плата STM32F407VGT6

Микроконтроллер ESP32, представленный на рисунке 3, построен на базе двухъядерного 32-разрядного процессора с поддержкой работы на тактовой частоте 160 или 240 МГц. Объем Flash-памяти составляет 4 Мбайт, а оперативной памяти 520 Кбайт. Микроконтроллер поддерживает беспроводную передачу данных по технологиям Wi-Fi и Bluetooth [7].

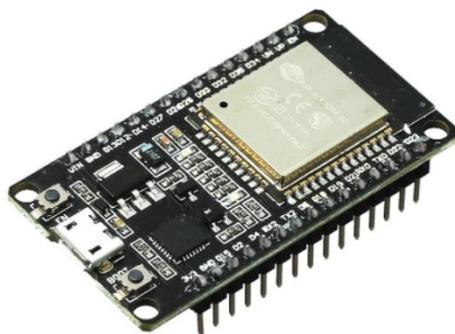


Рисунок 3 – Отладочная плата ESP32

Для определения угловой скорости вращения вала контролируемой поршневой машины предлагается использовать абсолютный магнитный энкодер AS5048a, работа которого основана на эффекте Холла. Данные с энкодера передаются по интерфейсу SPI, поэтому первым требованием к микроконтроллеру является поддержка подключения периферии по этому интерфейсу.

Вторым требованием является достаточный объем оперативной памяти для получения, обработки и хранения данных, получаемых с энкодера. Исходя из разрешающей способности AS5048a и количества оборотов вала, необходимых для проведения точной оценки состояния контролируемого объекта, выявлено, что минимальный объем оперативной памяти должен составлять 64 Кбайт. Исходя из этого объема памяти можно сделать вывод, что применение микроконтроллера ATmega 2560 невозможно из-за недостаточного объема оперативной памяти. Использование контроллеров STM32 и ESP32 допускается потому, что первый имеет 192 Кбайт оперативной памяти, а второй – 512 Кбайт.

Еще одним критерием, влияющим на выбор микроконтроллера, является его доступность на рынке и цена. Если брать во внимание актуальные на данный момент розничные цены на микроконтроллеры, то стоимость ATmega2560 составляет 3800 Р, а STM32 и ESP32 10440 Р и 1940 Р соответственно [8-10].

Важной частью выбора микроконтроллера является доступность среды программирования и наличие вспомогательных библиотек для работы с магнитным энкодером. Все рассмотренные микроконтроллеры имеют возможность подключения AS5048a, однако для STM32 при подключении AS5048A выявлена проблема с выставлением нулевой отметки угла поворота, в связи с этим происходит пропуск данных при начале отсчёта следующего оборота. Стоит отме-

туть, что по сравнению с STM32, контроллеры ATmega 2560 и ESP32 имеют возможность работы со средой Arduino IDE без каких-либо ограничений.

Исходя из требований наиболее подходящим является микроконтроллер ESP32.

Для проверки возможности применения устройства реализующего способ оценки технического состояния поршневого оборудования собран макет устройства, представленный на рисунке 4.

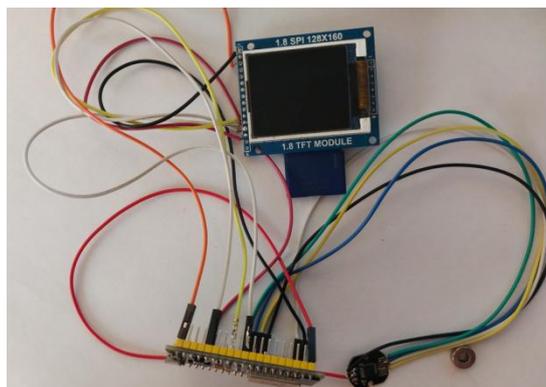


Рисунок 4 – Макет устройства

Энкодер фиксирует изменение угла поворота и каждые две тысячи изменений данные записываются на карту памяти формата SDHC для промежуточного хранения. Как только будут получены необходимые для усреднения данные, запись останавливается и происходит отправка полученного результата на персональный компьютер проводным или беспроводным способом по технологии WI-FI.

Возможность применения устройства исследована с помощью лабораторного стенда. В качестве исследуемой установки использовался двигатель внутреннего сгорания HR15DE, представленный на рисунке 5.



Рисунок 5 – Лабораторный стенд на основе двигателя HR15DE

Для получения данных магнит закреплялся в маховике с помощью втулки, напечатанной на 3D-принтере. Энкодер закреплялся напротив магнита с по-

мощью специальной подставки. При вращении вала двигателя был получен массив данных об изменении угла поворота. С целью определения дефектов данные были усреднены. По результатам усреднения и расчёта временного интервала между моментами измерения угла построен график изменения угловой скорости вращения вала, представленный на рисунке 7.

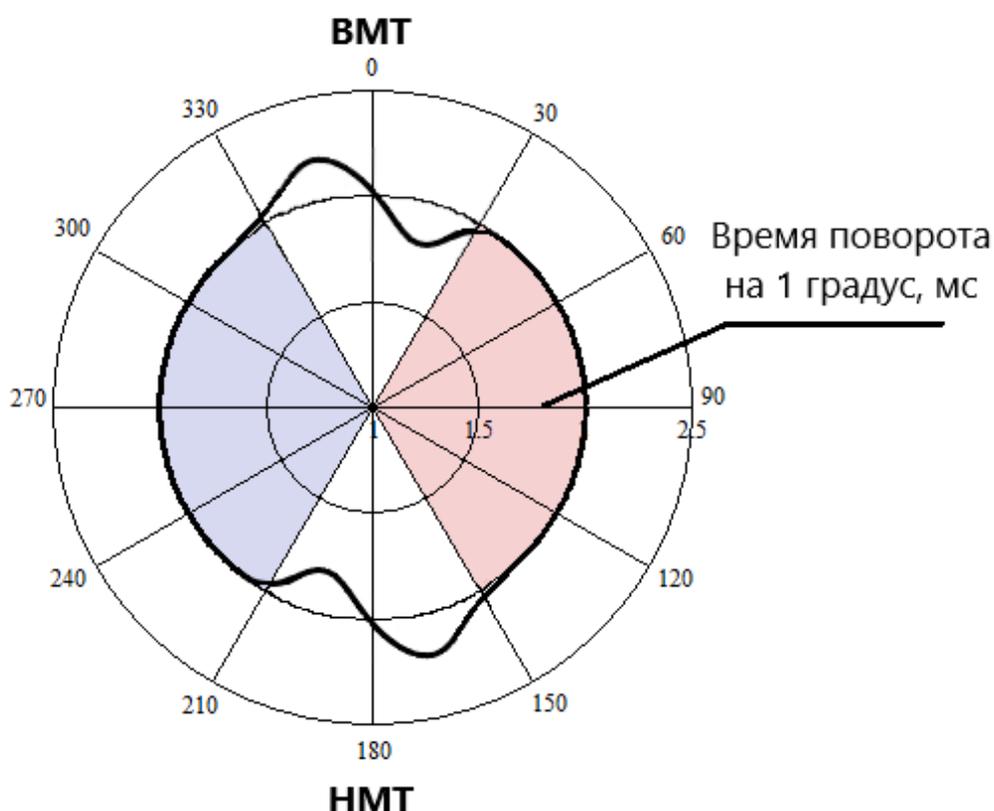


Рисунок 7 – График изменения угловой скорости

На графике можно увидеть изменение угловой скорости вращения вала в пределах от 150 до 210 и от 330 до 30 градусов, что соответствует нижней и верхней мертвой точке положения поршня в цилиндре. Это изменение связано с механизмом работы кривошипно-шатунного механизма. В момент достижения верхней или нижней мертвой точки происходит перекладка поршня, которая регистрируется изменением угловой скорости. При возникновении дефектов угловая скорость вала поршневой машины резко изменится, что, в свою очередь, приведёт сильному изменению линии угловой скорости в мёртвых точках.

Исходя из анализа доступности и соответствию к выдвигаемым требованиям наиболее подходящим микроконтроллером для реализации метода оценки технического состояния поршневых машин по фиксации угловой скорости вала является микроконтроллер ESP32.

Возможность применения микроконтроллера проверена с помощью лабораторного стенда. По результатам измерений можно сделать вывод о том,

что устройство для фиксации изменения угловой скорости на основе микроконтроллера ESP32 способно регистрировать изменения скорости под влиянием дефектов. Для получения точных данных о возможности применения необходимо провести исследования на промышленном оборудовании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Клюев, В. В.** Неразрушающий контроль и диагностика [Текст]: Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др. / ред. В.В. Ключева. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – с. 656.: ил. – Текст : непосредственный.
2. **Костюков, В. Н.** Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие / В. Н. Костюков, А. П. Науменко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с. : ил.– ISBN 978-5-8149-1101-8 – Текст : непосредственный.
3. **Краковский, Ю. М.** Математические и программные средства оценки технического состояния – Новосибирск: Наука, 2006. – 227 с.
4. Справочник по микросхеме AS5048A [https://ams.com/documents/20143/36005/AS5048\\_DS000298\\_4-00.pdf](https://ams.com/documents/20143/36005/AS5048_DS000298_4-00.pdf) (дата обращения: 04.05.2022).
5. **Блум, Д.** Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. – СПб: БХВ-Петербург, 2015. – 336 с ; – ISBN 978-5-9775-3585- 4. – Текст : непосредственный.
6. **Бугаев, В.И., Мусиенко, М.П., Крайнык, Я.М.** Лабораторный практикум для изучения микроконтроллеров архитектуры ARM Cortex-M4 на базе отладочного модуля STM32F4 Discovery – Москва-Николаев: МФТИ-ЧГУ, 2013 – 71 с.
7. **Момот, М.В.** Мобильные роботы на базе ESP32 в среде Arduino IDE. – СПб: БХВ-Петербург, 2020. – 272 с ; – ISBN 978-5-9775-6647-6. – Текст : непосредственный.
8. Каталог магазина ЧИП и ДИП. — Текст : электронный // ЧИП и ДИП - интернет-магазин приборов и электронных компонентов : [сайт]. — URL: <https://www.chipdip.ru/product/arduino-mega-2560> (дата обращения: 04.05.2022).
9. Каталог магазина ЧИП и ДИП. — Текст : электронный // ЧИП и ДИП - интернет-магазин приборов и электронных компонентов : [сайт]. — URL: <https://www.chipdip.ru/product/core407v> (дата обращения: 04.05.2022).
10. Каталог магазина ЧИП и ДИП. — Текст : электронный // ЧИП и ДИП - интернет-магазин приборов и электронных компонентов : [сайт]. — URL: <https://www.chipdip.ru/product0/9000587723> (дата обращения: 04.05.2022).